

Mémoire sur le projet d'usine d'engrais à Bécancour

Déposé au BAPE, le 27 septembre 2013

par Marc Brullemans, citoyen

Introduction

Dans l'avis public du 17 décembre 2012, le projet de l'usine se décline ainsi : « *IFFCO Canada Entreprise Limitée propose la construction et l'exploitation d'une usine de fabrication d'engrais, sous forme d'urée, dont la capacité de production serait de 3850 tonnes métriques par jour. Le complexe industriel serait situé dans le Parc industriel et portuaire de Bécancour, au Québec* ».

Dans un document de 36 pages réalisé par Maya Brennan-Jacot de la compagnie SNC-Lavalin¹, nous lisons : « *L'objectif du projet est de construire et d'exploiter une usine de fabrication d'engrais, plus particulièrement sous forme d'urée, d'une capacité moyenne annuelle de 1,3 millions de tonnes métriques par année dans le Parc industriel et portuaire de Bécancour au Québec* ».

Dans un cas, nous avons une production annuelle de 1,4 millions de tonnes, dans l'autre de 1,3 millions de tonnes, écart équivalent à un arrêt de production de 4 semaines par an. Dans les médias, nous pouvons relever des valeurs de capacité de production annuelle de 1,25², 1,27³, 1,2⁴, et, suite à la publication de la description du projet, de 1,2±0,1⁵ mégatonne (Mt) d'urée solide, à laquelle il faut ajouter 635 000 tonnes d'urée liquide. Puisque l'urée liquide serait constituée d'urée solide dans une proportion de 32,5%

¹ Que nous référencerons LAVALIN, 2012 et tel qu'il apparaît ici <http://www.ceaa-acee.gc.ca/050/documents/p80026/83917F.pdf>

² <http://affaires.lapresse.ca/economie/quebec/201208/31/01-4569901-projet-dusine-dengrais-de-14-milliard-a-becancour.php>

³ <http://affaires.lapresse.ca/economie/agroalimentaire/201209/11/01-4572898-usine-dengrais-le-choix-de-becancour-confirme-par-iffco.php>

⁴ <http://affaires.lapresse.ca/opinions/chroniques/jean-philippe-decarie/201210/12/01-4582767-quand-linde-vient-au-secours-de-becancour.php>

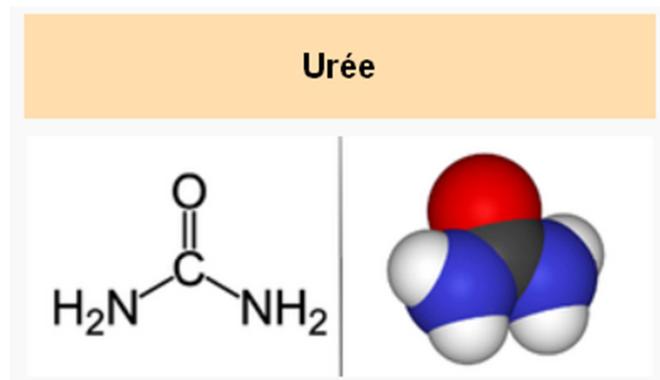
⁵ <http://affaires.lapresse.ca/economie/fabrication/201212/19/01-4605180-usine-duree-a-becancour-la-consultation-samorice.php>

(Lavalin, 2012), nous obtenons une capacité totale de production d'urée solide de $1,4 \pm 0,1$ Mt, faisant de cette usine l'une des plus grandes sur la planète⁶.

Lors de la présentation de mars 2013 et dans le journal Courrier Sud du 5 août 2013⁷, il est toutefois fait mention d'une capacité de 1,6 Mt/an. Dans le document déposé au BAPE à la cote PR3.1 et dont Lina Lachapelle de SNC-Lavalin est l'auteure, on peut lire : « *L'objectif du projet est de construire et d'exploiter une usine de fabrication d'engrais azoté, plus particulièrement sous forme d'urée, d'une capacité de 1,6 millions de tonnes d'urée par année dans le Parc industriel et portuaire de Bécancour au Québec.* ».

Pour la suite du document, nous conserverons la valeur de **1,4 Mt** sachant qu'il ne s'agit probablement pas de la capacité annuelle maximale de l'usine, en encore moins de la capacité maximale du site dans une vingtaine d'années puisque les ajouts de capacité de production dans les usines d'urée ne sont pas des phénomènes rares.

Composé de 8 atomes, l'urée est une molécule relativement simple comme nous pouvons le constater ci-dessous :



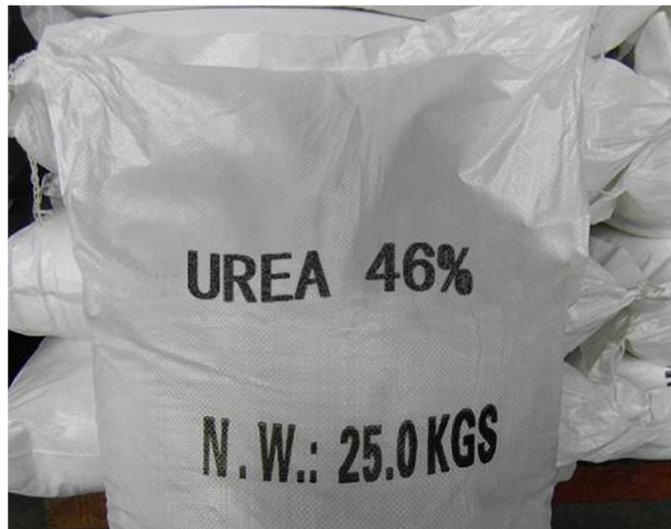
Sa masse moléculaire est de 60,05 g et sa masse volumique, sa densité, est de 750 kg/m³. La molécule d'urée compte deux atomes d'azote mais à cause de la masse de l'atome d'azote, ces deux atomes d'azote comptent pour environ 47% de la masse de la molécule ($28 \text{ g} / 60 \text{ g} = 47\%$). À cause de sa forte teneur en azote et de sa faible toxicité, l'urée est utilisée comme fertilisant et est en fait l'engrais azoté le plus utilisé présentement sur la planète.

⁶ Voir ce document à la page 23. http://www.agrium.com/includes/2011_Agrium_Fact_Book_v15_w_links.pdf et cet article : <http://www.theheraldng.com/nigeria-to-build-worlds-largest-fertilizer-plant/>

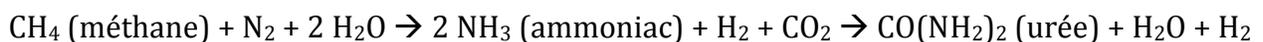
⁷ <http://www.lecourriersud.com/Actualites/2013-08-05/article-3337566/Des-agriculteurs-se-prononcent/1>

Si l'on reprend les valeurs ci-haut mentionnées, la masse d'azote produite annuellement par l'usine serait de 650 000 tonnes⁸ et le volume d'urée de 1,9 millions de mètres cube environ. Cette quantité correspond à un cube de 125 mètres d'arête.

Sur les marchés, les granules d'urée-fertilisant peuvent se vendre en sacs de 20 kg (voir figure suivante) au prix de 350\$ la tonne environ⁹. Toujours avec les mêmes valeurs de capacité de production, nous obtenons pour l'usine de Bécancour, une quantité de 70 millions de sacs qui pourraient être vendus annuellement aux grossistes à un prix de l'ordre de 490 millions de \$ (M\$).



La fabrication d'urée s'effectue par une série de réactions chimiques. De manière très simplifiée¹⁰, nous avons :



On peut voir ici, d'une part que le méthane, principal constituant du gaz naturel, est un réactif indispensable à la fabrication d'urée et aussi qu'il en nécessite une mole pour produire une mole d'urée. La masse moléculaire du méthane étant de 16 g, on peut vite établir que pour former une tonne d'urée il faut un minimum de 0,267 tonne de méthane¹¹.

⁸ $1\,400\,000 \text{ t} \times 46,7\% = 650\,000 \text{ t}$

⁹ Pour août 2013, le prix mondial de l'urée est de 305\$.

<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=urea&months=60>

¹⁰ Pour plus de détails, on peut consulter le site suivant :

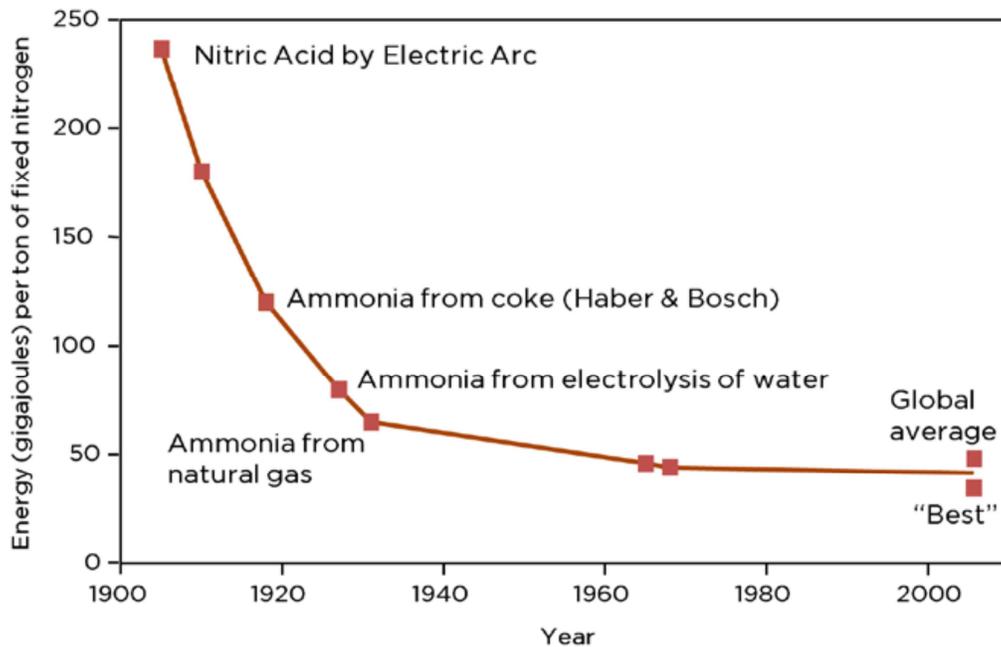
http://fr.wikipedia.org/wiki/Proc%C3%A9d%C3%A9_Haber ou encore ce document :

<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/production/1A.pdf>

¹¹ Calculs approximatifs : $1 \text{ tonne} \times 16 \text{ g} / 60 \text{ g} = 0,27 \text{ t}$. Pour une tonne d'ammoniac, c'est 0,47 t.

Notons aux passages que ces réactions chimiques, pour un meilleur rendement, nécessitent catalyseurs, températures et pressions élevées, mais que même sous ces conditions le rendement du procédé de fabrication n'est pas de 100% mais pourrait-être de 10%. Par recirculation des produits, on peut toutefois augmenter le rendement chimique global.

Une étude de Michael Bomford en 2011¹² montre un graphique illustrant l'augmentation de l'efficacité des procédés depuis un siècle, d'un point de vue énergétique:



L'auteur indique que le rendement des meilleures usines serait de 36 GJ par tonne d'azote fixée. Cette quantité d'énergie correspond à 10 000 kWh soit environ la moitié de la consommation en électricité d'un ménage au Québec. Il faut noter que depuis les années 60, le rendement, selon cette source, mais d'autres aussi, ne s'est amélioré que de 30% et qu'il semble s'essouffler. Il s'agit ici d'un graphique pour une usine de fabrication d'ammoniac mais la courbe pour l'urée devrait être similaire.

Calculons maintenant la quantité minimale de gaz nécessaire pour produire une tonne d'urée. La masse volumique du gaz naturel en phase gazeuse (1,013 bar et 15°C) est de 0,71 kg/m³ (selon la fiche technique de Gaz Metro) et l'on peut donc évaluer, en supposant un rendement de 100%, le volume de gaz naturel requis annuellement par la future usine. Nous obtenons 0,53 milliard de mètres cube (0,53 Gm³).

¹² Bomford. « Agriculture and natural Gas » in «Will Natural Gas Fuel America in the 21st Century? », disponible ici : <http://www.postcarbon.org/reports/NatGasSupplements.pdf>

Or, dans le document de présentation de 2012, il est mentionné que « *Le gaz naturel sera utilisé comme principale matière première dans le processus de fabrication et comme source de carburant pour la chaudière. Le gaz naturel sera distribué par le réseau de Gaz Métro. La consommation estimée est de 2,1 à 2,5 millions de mètres cubes standard par jour* » ou 2,3 Mm³ ±8,7%. Cette consommation de gaz naturel inclut les besoins en énergie de l'usine et le méthane servant de réactif (intrans). Par année, nous obtenons une consommation totale de gaz de 0,84±0,07 Gm³, semblant ainsi indiquer un rendement global (en gaz naturel) de l'ordre de 63%. Ramené en masse par masse, la fabrication d'une tonne d'urée nécessiterait donc 0,43 tonne de gaz naturel.

Selon une présentation de la compagnie de fertilisants Yara¹³, une usine performante aurait un rendement, considérant le seul intrant du gaz naturel, de 0,35 tonne de gaz naturel par tonne d'urée produite soit un rendement global de 76%

Dans le tableau 3.3 du document du promoteur (cote PR3.1) datant de 2013, il est toutefois fait mention d'une consommation de 1025 millions de mètres cubes standard soit 1,02 Gm³. Plus loin, à la page 8.13, on retrouve 1,10 Gm³. D'où provient cette hausse de consommation de 31% par rapport à la première description? Est-ce parce que la quantité d'urée est prise comme égale à 1,64 Mt par an? Si tel est le cas, le rendement global, de 63%, tomberait à 60% et à 56%, faisant de la future usine, une dont les performances seraient des plus moyennes.

Dans les versions subséquentes du tableau 3.3, on retrouve (DA10), avec 65 MW de puissance électrique utilisée, une quantité de 0,93 Gm³, correspondant ainsi à un rendement de 62%. Dans l'étude Ernst et Young (cote DA13), à partir de l'annexe A1, on peut déduire une quantité de gaz utilisée de 0,68 Gm³ !¹⁴ L'on peut se demander légitimement, d'où provient cette faible valeur d'utilisation de gaz naturel, correspondant à un rendement de 72%? Comment expliquer, que ce rendement, dans deux documents de 2013, varie de 56 à 72%?

¹³ http://www.yara.com/doc/37694_2012%20Fertilizer%20Industry%20Handbook%20wFP.pdf, page 63.

¹⁴ Le rapport fait mention de l'utilisation de 20 MJ (19.9996 !) de gaz naturel soit environ 0,52 m³ par kg d'urée produite. Pour le scénario de référence, importation d'urée, Ernst & Young, utilise une quantité de gaz 11% supérieure.

Importance de la consommation de gaz naturel

Selon le site du gouvernement du Québec, les importations de gaz au Québec étaient en 2009 de 5,5 Gm³¹⁵. Si l'on consulte la banque de données de Statistiques Canada (CANSIM 129-0002), la consommation de gaz naturel au Québec en 2011 serait de 5,53 Gm³. Si l'on prend cette dernière valeur comme repère, la consommation de gaz de l'usine projetée, estimée à 0,84 Gm³, ferait donc bondir de 15% la consommation de gaz au Québec.¹⁶ Relativement, la part des industries passerait alors de 50 à 57% alors que la demande résidentielle verrait son importance diminuer de 11 à 9%.

Comme on peut le voir, le projet d'IFFCO à Bécancour, par son ampleur, mérite toute l'attention des citoyens et des élus du Québec. Si l'on suppose qu'un puits de gaz de schiste « médian » produit une quantité de gaz durant sa vie utile de 10 millions de m³, l'usine ne peut fonctionner que si l'on fore, fracture et exploite plus de 100 nouveaux puits par an, si l'on suppose le seul apport du gaz de schiste comme source de méthane. L'impact environnemental dans ce cas de figure, bien que pas nécessairement local, peut intimider...

Fondements du projet

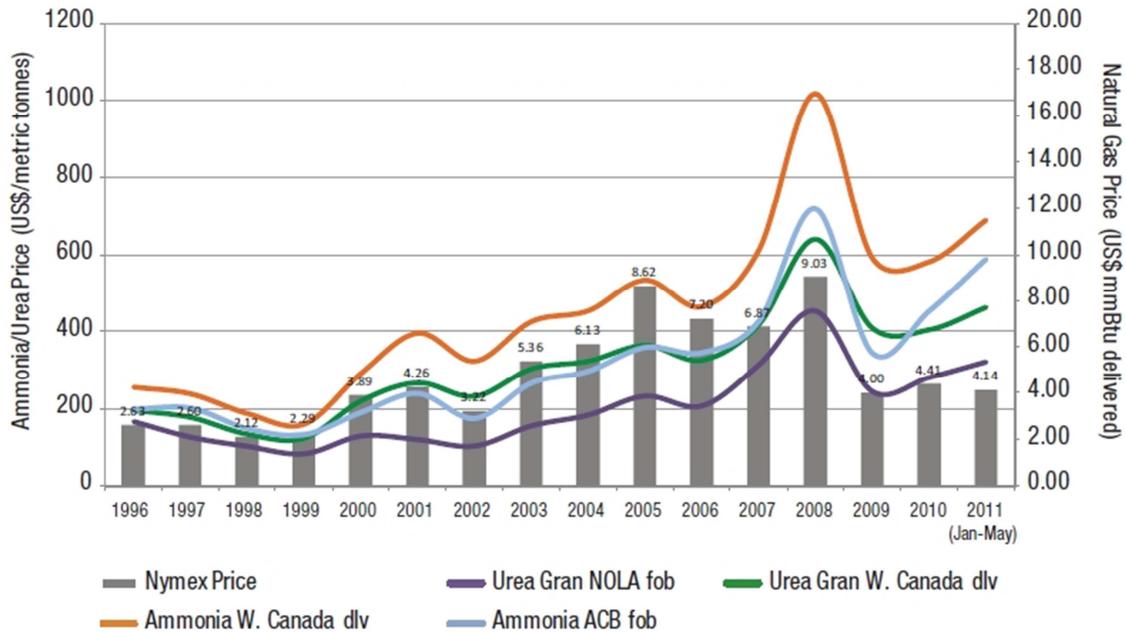
Tel que spécifié dans le document de présentation (Lavalin, 2012), « *la production d'engrais nécessite une source importante d'énergie et de carbone, qui dans plusieurs pays, provient des gaz extraits du charbon. Le projet proposé au Québec permettra la production d'urée par la transformation et l'utilisation d'une ressource moins polluante, soit le gaz naturel.* »

Si une partie de la proposition est juste, l'autre est très tendancieuse. Plusieurs spécialistes – et les compagnies productrices au premier chef – sont d'avis que la consommation de gaz naturel compte pour environ 80% au coût de production de l'urée. D'ailleurs, il suffit de suivre le cours de l'urée et celui du gaz naturel pour s'en convaincre :

¹⁵ <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-import-export-gaz.jsp>

¹⁶ Dans un document du MRN déposé au BAPE sous la cote PR6.1, on peut lire « La consommation annuelle de gaz naturel de cette usine pourra atteindre 35 bcf. Ce volume correspond à 18,5 % de la demande totale de gaz naturel du Québec (en se basant sur les données de 2009) ». Pour le lecteur, 35 bcf équivalent à 1 Gm³.

Nitrogen Fertilizer Products



Source : Agrium Factbook 2011-2012, page 96

Il existe aussi des calculateurs en ligne pour calculer les coûts de revient selon le cours du gaz naturel. Si on utilise celui de la compagnie Yara (figure suivante) avec le cours de janvier 2013, le calcul donne un coût du gaz égal à 71% de l'ensemble des coûts de production de l'urée. Évidemment, il s'agit d'une usine type et cette valeur peut être différente selon les procédés utilisés ou encore l'état de fonctionnement des différentes constituantes de l'usine. Fait à noter, si le prix du gaz double ou triple, la proportion des coûts pour la matière gaz peut dépasser 90%. Il est donc clair que le prix d'achat du gaz à Gaz Metro sera négocié de manière très serrée par IFFCO Canada.

www.yara.com/tools/cashcost.html

Google Recherche av... Gmail : la messagerie ... La Zone Audio • Vidéo

Ammonia cash cost build-up

Gas price:	<input type="text" value="3.50"/>	USD/mmbtu
x Gas consumption:	<input type="text" value="36"/>	mmbtu/mt NH ₃
= Gas cost:	126	USD/mt NH ₃
+ Other prod. cost:	<input type="text" value="26"/>	USD/mt NH ₃
= Total cash cost:	152	USD/mt NH ₃ US Gulf ex works
<input type="button" value="Clear"/>		

Granular urea cash cost build-up

Ammonia price:	<input type="text" value="152"/>	USD/mt NH ₃
x Ammonia use:	<input type="text" value="0.58"/>	NH ₃ /mt gr urea
= Ammonia cost:	88	USD/mt gr urea
+ Process gas cost*:	<input type="text" value="18"/>	USD/mt gr urea
+ Other prod. cost:	<input type="text" value="22"/>	USD/mt gr urea
= Total cash cost:	128	USD/mt gr urea US Gulf ex works
<input type="button" value="Clear"/>		

Source: Blue Johnson & Associates

De prétendre que l'utilisation du gaz naturel par IFFCO pour produire de l'urée est un choix délibérément vert est toutefois de la poudre aux yeux. Mondialement, la part d'urée produite à partir de gaz naturel est supérieure à 75% et s'il est vrai que certains pays, surtout la Chine, utilise encore le charbon, il est vrai aussi que d'autres sources, comme le gaz hydrogène, peuvent être utilisées comme intrant dans le processus de fabrication.

« Dans l'ensemble, le gaz naturel est le combustible le plus économique et le plus propre » pouvait-on lire sur le site d'IFFCO¹⁷ mais sans pour autant que l'on connaisse la pondération accordée à l'un et l'autre. Profitant de centrales hydroélectriques, Norsk Hydro est né il y a plus de 100 ans de ses usines de fertilisants, lesquelles fixaient l'azote par l'électricité. Avec comme principal intrant l'air – et l'énergie hydroélectrique – nous pouvons fabriquer de l'ammoniac et de l'urée.

Nous pouvons aussi fabriquer de l'hydrogène avec l'électricité (électrolyse chimique de l'eau), par rayonnement solaire (cellules photoélectrochimiques, algues photosynthétiques) ou par l'utilisation de microorganismes ou d'enzymes (déshydrogénases). Dans tous ces cas de figure, on peut se passer des hydrocarbures fossiles (gaz naturel, pétrole et charbon) et ainsi diminuer de beaucoup l'empreinte carbone de l'urée. En résumé, si la possibilité d'utiliser du biométhane a été considérée pour cette usine d'engrais, il n'en a pas été de même des autres technologies n'utilisant pas le gaz naturel.

Lien avec le gaz de schiste

« Dans un communiqué, la ministre déléguée à la Politique industrielle et à la Banque de développement économique du Québec, Éline Zakaïb, a indiqué que le projet aura recours au gaz naturel, acheminé par Gaz Métro et provenant d'un réseau de distribution nord-américain. «Il n'y a aucun lien entre IFFCO et le gaz de schiste au Québec», a conclu le responsable régional au sein du gouvernement Marois, Yves-François Blanchet. »¹⁸

Selon Vincent Perron de la compagnie Talisman, 30% du gaz que nous consommons au Québec provient de réservoirs non-conventionnels nécessitant la fracturation de la roche-mère ou de la roche-réservoir. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie et l'Office National de l'Énergie du Canada, la proportion de gaz non-conventionnel produit dans l'ouest canadien serait comprise entre 40 et 50%.

¹⁷ <http://www.iffcocan.com/impacts-sur-l-environnement/pollution-et-impacts-environnementaux-des-engrais-azotes/>. Ce lien n'est plus fonctionnel.

¹⁸ <http://www.lapresse.ca/le-nouvelliste/economie/201210/09/01-4581453-iffco-confirme-sa-venue-a-becancour.php>

Aux États-Unis, la proportion est même supérieure. Déjà en 2009, 56% du gaz naturel fossile produit aux États-Unis était d'origine non-conventionnelle. Si l'on consulte les dernières données en ligne de l'EIA (U.S. Energy Information Administration), les données pour la présente décennie montrent que la proportion de gaz obtenu de la fracturation de la roche passera de 60 à 75%. Bref, c'est environ le 2/3 du gaz naturel qui servira à fabriquer l'urée qui sera d'origine non-conventionnelle.

Comme il serait extrêmement étonnant que le gaz conventionnel et non-conventionnel possèdent chacun leur réseau de distribution, il est donc faux de prétendre, à l'instar du directeur du Parc Industriel de Bécancour¹⁹, qu'il n'existe pas de lien entre IFFCO et le gaz de schiste. Malheureusement, le gaz obtenu par fracturation de la roche génère d'intenses émissions de GES. De nombreux rapports font même état que la filière serait pire que celle du charbon à ce niveau²⁰. Nous y reviendrons plus avant.

Il est intéressant par ailleurs de citer le représentant du MRN lors de la première partie des présentes audiences (document DT1) : « *C'est les forces du marché qui mettent du gaz dans les tuyaux.* » et « *Donc, pour revenir à la question du début, la proportion de gaz de schiste qui est incluse dans la consommation présentement? Bien, c'est très difficile à dire, puis même Gaz Métro s'est fait questionner lors d'audiences devant la Régie, et elle n'est pas capable de répondre à cette question-là.* ».

Puisque le réseau de gaz naturel est intégré sur le plan continental, l'on ne peut que consulter les bilans de l'ONÉ et de l'EIA pour l'estimer, sachant aussi que la seule interprétation de la classification des puits d'hydrocarbures n'est pas une mince affaire, puisqu'elle peut différer d'un état ou d'une province à l'autre.

Le principal problème : les émissions massives de GES

En 1992, 1700 scientifiques signèrent une lettre, un appel planétaire, dans laquelle il était écrit : « *We must bring environmentally damaging activities under control to restore and protect the integrity of the earth's systems we depend on. We must, for example, move away from fossil fuels to more benign, inexhaustible energy sources to cut greenhouse gas emissions and the pollution of our air and water.* » Plusieurs prix Nobel signèrent cette lettre dont François Jacob, Brenda Milner, James Watson, Ilya Prigogine, Frederick Sanger, Julian Schwinger et les biophysiciens Manfred Eigen et Erwin Neher.

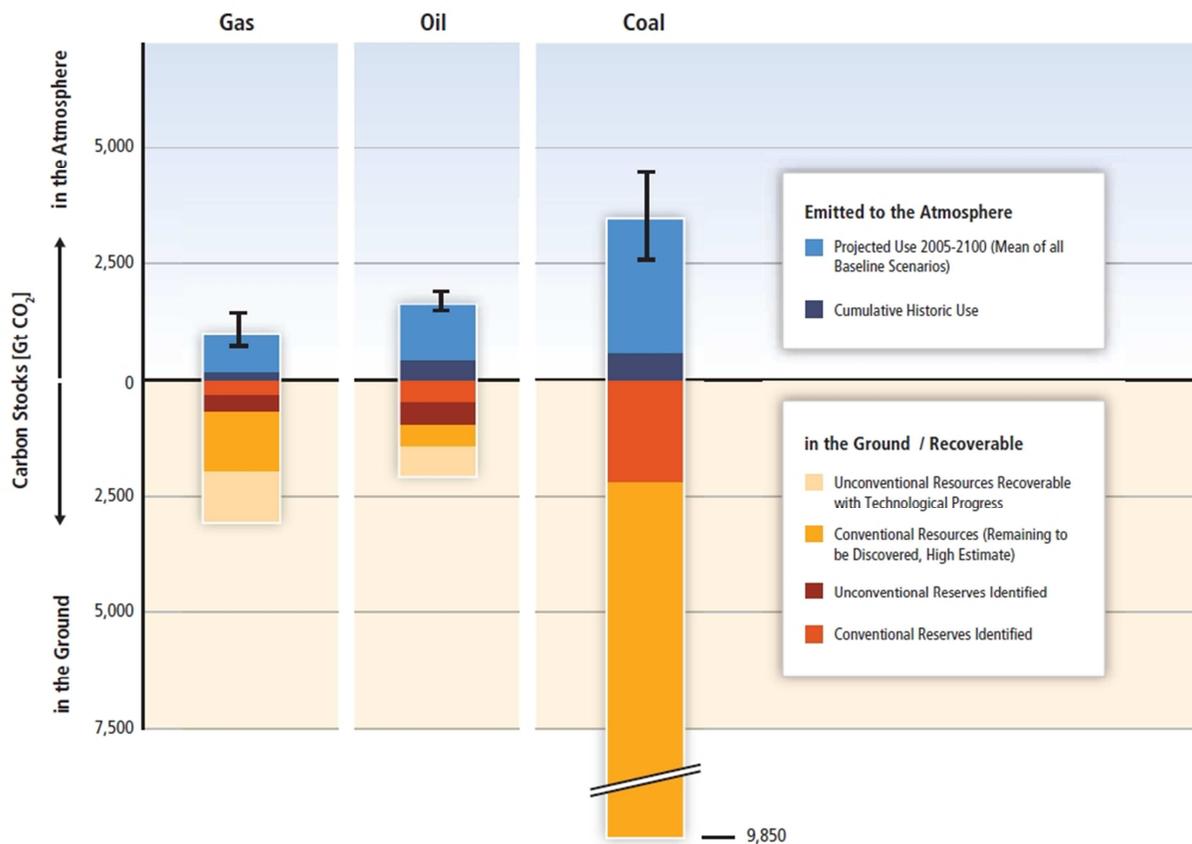
¹⁹ <http://www.lapresse.ca/le-nouvelliste/actualites/201209/12/01-4573209-usine-dengrais-a-becancour-aucun-lien-avec-le-gaz-de-schiste-selon-maurice-richard.php>

²⁰ Pour une revue, consulter le récent article de Tollefson : <http://www.nature.com/news/air-sampling-reveals-high-emissions-from-gas-field-1.9982>

Depuis le protocole de Kyoto en 1990, les émissions de GES ne sont pas régulées, bien au contraire. Elles vont en augmentant et leurs quantités totales dans l'atmosphère entraîneront un florilège d'effets dont le plus connu est le réchauffement climatique. Ce réchauffement est planétaire et se situe maintenant à 0,9°C par rapport à 1750. Il faut toutefois noter que régionalement, ou sur une saison, ce réchauffement peut-être de l'ordre de 5 degrés voire même 10 degrés C. Or, les êtres vivants voient leur physiologie modifiée par un seul degré... Ils doivent donc migrer, ce que font les animaux, s'adapter, ce que font en général les microorganismes, mais en ce qui concerne les végétaux, ils risquent de s'étioler et de disparaître. Des scientifiques aussi sérieux qu'Hubert Reeves sont pessimistes en ce qui concerne l'être humain : sans parler d'une disparition complète, quelques décennies pourraient suffire à faire en sorte ce que la population humaine chute drastiquement²¹.

Le hic, c'est que les prévisions de consommation d'hydrocarbures fossiles vont en augmentant et que cela est possible vu l'importance des réserves d'hydrocarbures fossiles, comme en fait foi la figure suivante (GIEC, 2012) :

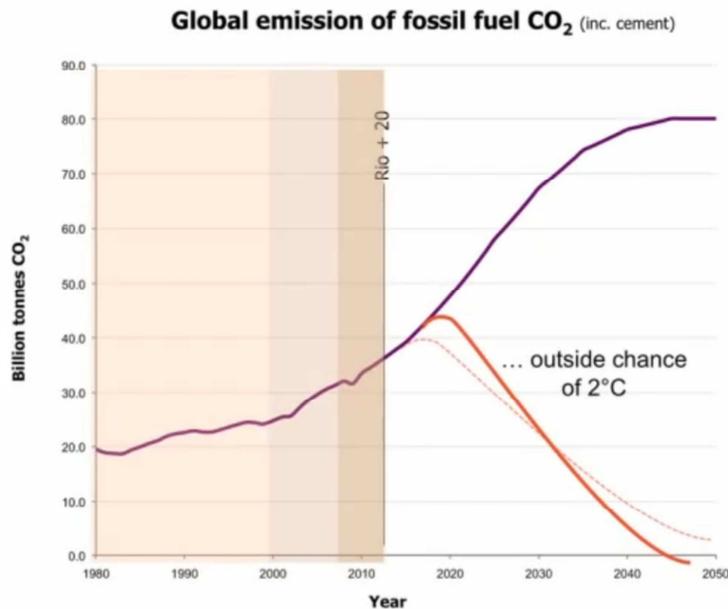
²¹ « Dans peu de temps, notre espèce pourrait vivre dans des conditions très atroces ».
<http://www.youtube.com/watch?v=qb0WkKrz0Co>



La partie en bleu foncé représente la quantité de carbone dans l'atmosphère. Or, d'une part, elle se trouve un ordre de grandeur plus petite que les réserves identifiées (orange); d'autre part, il est généralement admis dans la communauté scientifique que la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère est déjà trop grande ²² et qu'elle devrait être ramenée rapidement à un taux de 350 ppm afin de prévenir des boucles de rétroaction positives (fonte du pergélisol, libération océanique des hydrates du méthane, etc) ou inconnues encore.

La figure suivante provient de la compagnie Cabot Oil et elle n'est pas unique; on en retrouve des dizaines semblables dans les rapports annuels des compagnies pétrolières et gazières, de même que dans les rapports émanant du GIEC, de l'ONU (PNUE), ou même de la Banque Mondiale. On y voit clairement que nous devons restreindre nos émissions et que 2017 semble être l'année charnière pour amorcer cette décroissance.

²² Présentement, la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère est de 395 ppm.



Dans le document de présentation, il est inscrit que « les émissions totales de gaz à effet de serre (GES) de l'usine feront en sorte qu'IFFCO Canada se retrouvera dans la catégorie des grands émetteurs de GES ». Cela fut repris dans les médias : « IFFCO se retrouvera dans les grands émetteurs de gaz à effet de serre et alourdira le bilan québécois de GES »²³

En octobre dernier, j'écrivais dans une lettre d'opinions intitulée IFFCO, Bécancour et le XXI^e ²⁴ : « L'urée fertilisant génère des gaz à effet de serre (GES) lors de sa production, mais il se dégrade dans les champs en ammoniac et en CO₂ et indirectement en oxyde d'azote, grevant encore plus le bilan des GES. Nos décideurs savent-ils, selon les données mêmes des fabricants, que l'empreinte carbone de l'urée fertilisant est d'environ 5 tonnes d'équivalent CO₂ par tonne d'urée produite et épandue? » Et plus loin, qu'il était « à espérer que quelqu'un, quelque part, effectue le juste bilan.»

L'empreinte carbone de l'urée

Selon les estimés des grands fabricants d'urée – on ne peut les taxer d'exagération -, on retrouve des valeurs de 7,9 (IFS, 2003; voir figure suivante), 4,4 (SKW, 2012 ²⁵) et 4,7 (Yara,

²³ <http://affaires.lapresse.ca/economie/fabrication/201212/19/01-4605180-usine-duree-a-becancour-la-consultation-samorco.php>

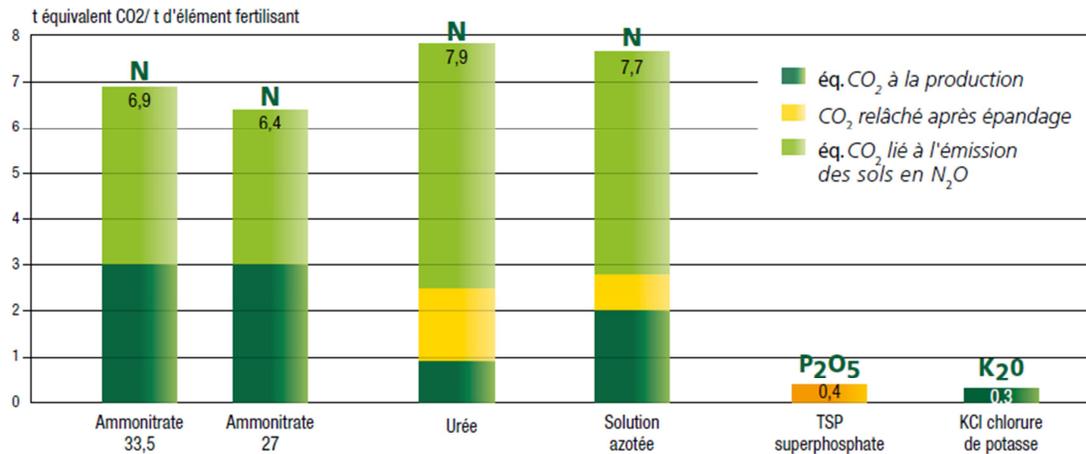
²⁴ <http://www.lapresse.ca/le-nouvelliste/opinions/201210/12/01-4582698-becancour-iffco-et-le-xixe-siecle.php>

²⁵ <http://bit.ly/UD5CRI>

2012 ²⁶) tonnes d'équivalent CO₂ de GES émis par tonne d'urée fabriquée, transportée et épandue dans les champs.

ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE LIÉE À LA PRODUCTION ET À L'UTILISATION D'ENGRAIS (INCLUANT N₂O POUR LES AZOTÉS)

Sources : IFS - N°509-2003 et Bouwman, Boumans 2002



Source : http://www.unifa.fr/fichiers/dossiers_techniques/dt_bioenergie.pdf

Comme on peut le voir sur l'histogramme, c'est la libération de CO₂ (gaz carbonique) et surtout de N₂O (protoxyde d'azote) dans l'atmosphère suite à l'épandage qui contribue le plus au bilan GES en ce qui concerne l'urée. En supposant une libération de 2% (masse/masse) de N₂O par rapport à l'azote épandu, on arrive, à cause du fort potentiel de réchauffement global de ce gaz (310 selon le GIEC), à un rapport de 2,9 tonnes d'équivalent CO₂ par tonne d'urée. Comme le taux de libération moyen (appelé aussi facteur d'émission) peut varier d'un facteur 4 (Snyder et Fixen, 2012²⁷) ou plus ²⁸, selon les années, les endroits et les cultures, il semble que les valeurs fournies par les fabricants soient réalistes. Il faut noter qu'il existe de nombreuses voies indirectes par lesquelles le N₂O peut « réapparaître » et que des études à long terme sont nécessaires afin de déterminer plus précisément le facteur d'émission moyen. Puisque rien n'est simple, la fertilisation par des engrais azotés peut affecter aussi le bilan en GES en affectant le taux d'absorption du méthane du sol en culture par les bactéries.

²⁶ http://www.yara.com/doc/37694_2012%20Fertilizer%20Industry%20Handbook%20wFP.pdf

²⁷ <http://www.saipatform.org/uploads/Modules/Library/snyder-and-fixen-plant-nutrient-mgmt-risk-of-nitrous-oxide-emission-jswc-2012.pdf>

²⁸ <http://www.biogeosciences-discuss.net/9/9259/2012/bgd-9-9259-2012.pdf>

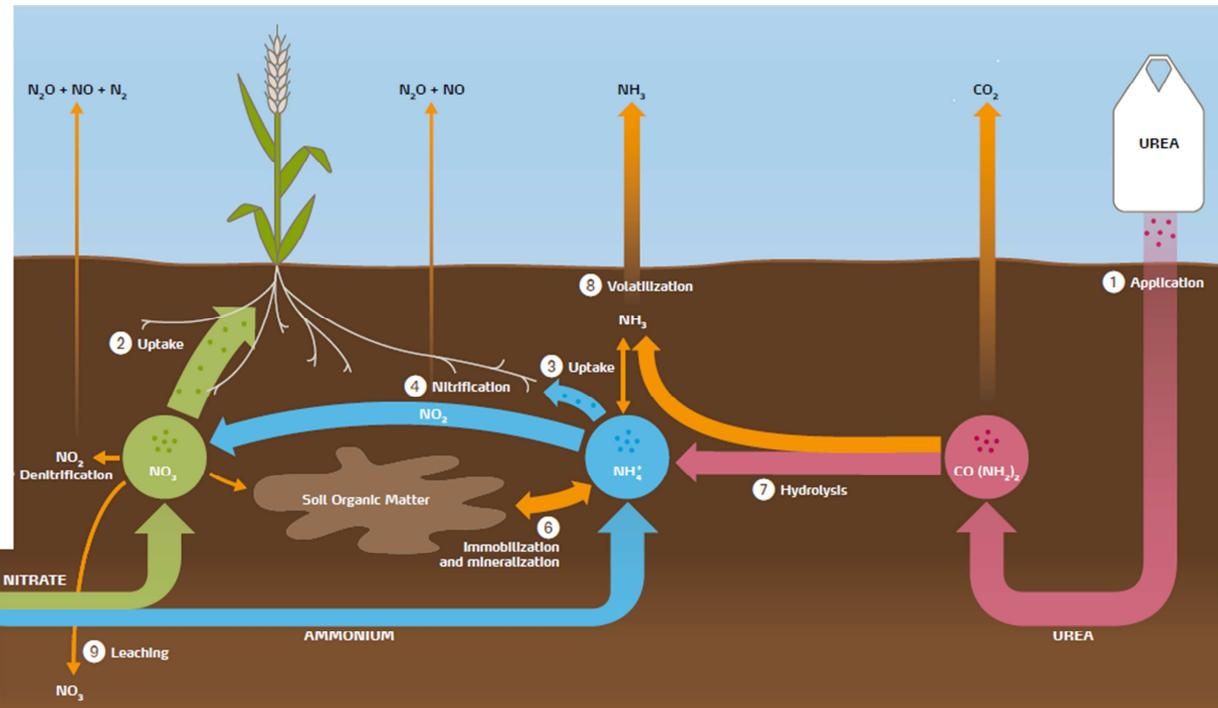


Figure illustrant le devenir de l'urée-fertilisant
[http://www.yara.com/doc/33521_Nitrate - Pure Nutrient.pdf](http://www.yara.com/doc/33521_Nitrate_Pure_Nutrient.pdf)

L'effet du N_2O n'a pas été considéré dans le document de présentation et je crois que cela est une importante lacune étant donné que ce gaz contribue significativement au forçage radiatif anthropique de l'atmosphère, 10% selon les évaluations du GIEC de 2007, et qu'il est actuellement l'agent le plus destructeur de la couche d'ozone ²⁹.

Prenons une valeur intermédiaire de 5,0 tonnes d'équivalent CO_2 , nous obtenons alors une émission annuelle de GES provoquée par l'usine de 7,2 Mt (1,4 Mt d'urée x 5,0 t eq. CO_2 par tonne urée). En supposant que seule la moitié de l'engrais produit est épandu au Québec, nous avons grosso modo une augmentation du bilan GES du Québec de 3,9 Mt. Puisque les émissions reconnues en 2009 sont de 82 Mt (MDDEP, 2011³⁰), on peut escompter un bond possible des émissions de l'ordre de 5%. Si la quantité d'urée utilisée au Québec, malgré la venue de cette usine, n'augmente pas, ce qui serait surprenant, l'augmentation pourrait être

²⁹ Ravishankara, A., Daniel, J. S. & Portmann, R. W. 2009. Nitrous oxide (N_2O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 326, 123–125 et Aronson et Allison (2012) in *Frontiers in Microbiology*. doi: 10.3389/fmicb.2012.00272.

³⁰ <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2009/inventaire1990-2009.pdf>

de l'ordre de 1,2% ³¹, ce qui n'est tout de même pas négligeable puisque cela concerne une seule source d'émission.

Dans le texte de présentation, page 19, il est écrit que les émissions de GES « *devraient représenter moins de 1 % des émissions totales de la province du Québec* ». Cette valeur de 1% (en fait 0,82 Mt de CO₂ éq.) devrait être vue selon moi comme une valeur minimale et non pas comme un maximum. Ajoutons aussi que la valeur est positive alors que tout bon projet – 2017 oblige - devrait montrer un bilan d'émissions de GES nul ou négatif.

Il est intéressant sur ce point de mentionner que l'imposition d'une taxe carbone de 100\$ la tonne (d'équivalent CO₂) ferait en sorte qu'IFFCO et ses partenaires seraient tenus de défrayer une somme comprise entre 100 et 700 M\$ par année, rendant ainsi le projet économiquement non-viable, du moins si l'on considère les bases actuelles.

L'empreinte carbone de l'usine d'urée

Tout dernièrement, le 4 septembre 2013, un rapport de Ernst & Young fut présenté par le promoteur (BAPE, cote DA14). Sous des apparences irréprochables, ce rapport peut être selon moi critiqué pour trois principales raisons : 1) le choix des scénarios et des paramètres, 2) le choix des références et 3) les erreurs ou mésinterprétations.

Sur ce dernier point, on peut lire à la page 14 : « *For the Canadian natural gas process, data on shale gas extraction is based on a limited number of sites. However, shale gas is not expected to contribute significantly to the production mix in 2018 and the impact on data quality is considered low. The situation is different in the US, where shale gas is expected to contribute to approximately 40% of the total natural gas production in 2018* (Energy Information Administration, 2013b) ».

Ici, Ernst & Young met l'emphase sur le gaz de schiste mais oublie les autres gaz issus de la fracturation que sont les gaz de réservoirs étanches et le gaz de houille. Comme dit précédemment, la proportion de non-conventionnel en 2018 aux États-Unis excédera de beaucoup 40%. Quant à celle canadienne, il faut connaître les caractéristiques (la perméabilité principalement) des formations rocheuses pour la calculer correctement. Il est vrai qu'il y a très peu de schiste et donc de gaz de schiste dans l'ouest canadien mais la plupart des forages se font au-travers de roches peu perméables et nécessitant donc la fracturation. L'empreinte carbone du gaz naturel issu des puits forés présentement au

³¹ Selon Ledgard et coll. (2011), http://firc.massey.ac.nz/workshops/11/Manuscripts/Ledgard_2011.pdf, la production d'une tonne d'urée entraîne, dans une usine alimentée au gaz, 0,73 tonne d'équivalent CO₂.

Canada est supérieure à celle indiquée par Ernst&Young et elle ne peut être rendue comparable à celle de puits conventionnels.

À l'instar d'un des réviseurs du CIRAIG, je suis d'avis que les valeurs de plusieurs paramètres de l'étude ne sont pas accessibles. Pour fins de comparaison, il suffit de consulter l'étude du CIRAIG déposée récemment à l'ÉES sur le gaz de schiste (http://ees-gazdeschiste.gouv.qc.ca/wordpress/wp-content/uploads/2013/09/Rapport-etude-GES1-1-et-EC2-3_CIRAIG.pdf), la lecture de la liste des paramètres (et les valeurs associées) est fastidieuse mais son existence est seule garante d'un processus de validation.

Regardons un des paramètres auquel nous avons accès. Dans l'étude d'Ernst & Young, on pose que l'empreinte carbone du gaz naturel américain est de 9,3 kg par GJ. Si l'on consulte l'étude de l'ÉES ci-haut citée, pour un puits dont l'EUR (la quantité de gaz récupérable) est de 30 Mm³ (voir graphique ci-dessous), l'empreinte carbone passe, selon le taux d'émanations fugitives, de 14 à 58 kg d'équivalent CO₂ par GJ de gaz. Si un horizon de 20 ans est considéré, au lieu de 100 ans, il faut multiplier ces valeurs par au moins deux encore. Si la productivité du puits est plus faible, les valeurs d'émissions se trouvent encore plus élevées. Pour quelqu'un familier du domaine, ce 9,3 kg par GJ ne tient pas la route.

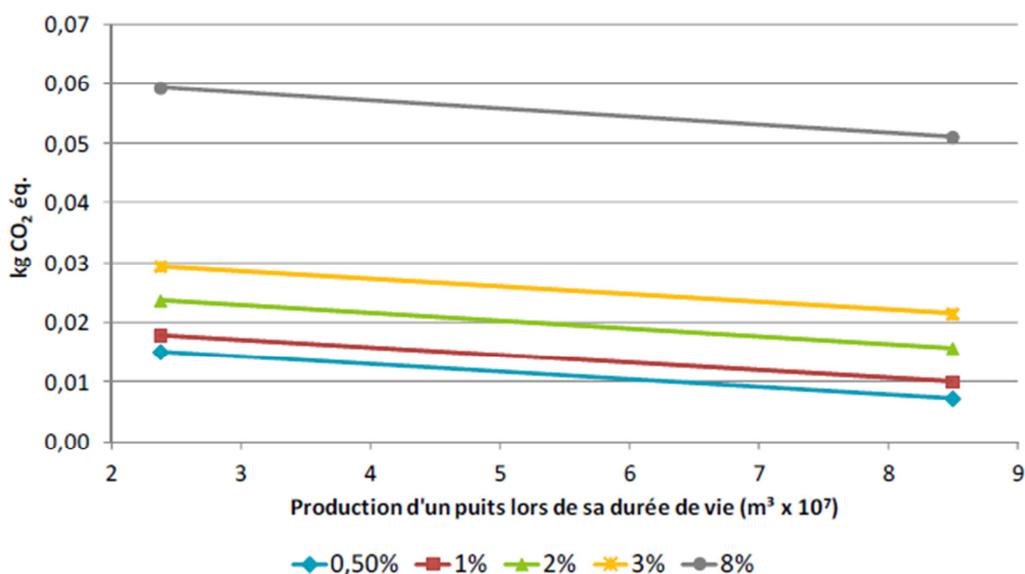


Figure 3-14 : Effet du taux d'émissions fugitives sur le profil environnemental du gaz de schiste québécois – Production de 1 MJ de gaz (méthode « GIEC 2007 », 100 ans).

Revenons sur les émissions de GES de l'usine projetée par IFFCO. Sans aucune justification, IFFCO estime que les émissions seront de 0,41 tonne d'équivalent CO₂ par tonne d'urée

produite. Dans le tableau 7.4, apparaît aussi des valeurs de 0,41 (Kongshaug, 1998 ³²) et de 0,45 (Bhushan, 2010 ³³).

Ces deux références ne sont pas vraiment sérieuses. La première présuppose des rendements de conversion d'ammoniac en urée de 100% et ne tient aucunement compte de la construction de l'usine ni du transport des intrants, ni des émissions fugitives de méthane. Une étude bâclée dans laquelle l'auteur fait des suppositions sans qu'une mesure de quoi que ce soit ne soit apparemment faite. En conclusion, l'auteur affirme que « *It has been very difficult to find relevant data for energy consumption related to fertilizers in the literature* » et « *It has therefore been necessary to make several assumptions based on reported data (sic) and data from Hydro Agri and other companies together with own fertilizer knowledge and judgement.* » Davis et Haglund en 1999, prirent quant à eux une valeur de 1,85 tonne et cette valeur fut reprise par « EcoInvent 2.0 » en 2007.

Quant à la référence de Bhushan, d'emblée, l'auteur indique que les usines d'urée indiennes ont en moyenne des émissions de 0,70 tonne par tonne d'urée et qu'il faudrait qu'elles atteignent en moyenne 0,43 tonne en 2030. Est-ce des prévisions au goût de l'auteur? Et pourquoi sont-elles reprises par IFFCO? Dans l'étude, l'auteur mentionne que l'usine la plus performante, l'usine de Tata Chemicals à Babrala, aurait des émissions de 0,48 tonne d'équivalent CO₂ par tonne d'urée. Aucune référence, aucunes limites et aucune méthodologie ne sont présentées. Bref, on est plus près de la réclame que de la science.

En dépit des circonstances, utilisons la valeur IFFCO de 0,41 et multiplions là par 1,6 Mt d'urée. Résultat : 650 000 tonnes de GES (équivalent CO₂), soit à peu près la valeur donnée dans la description de projet début 2013. Si on prend la nouvelle valeur de 0,36 (DA10) et utilisée sans discussion par Ernst & Young (DA14) du scénario 65 MW, on obtient 580 000 tonnes. Il semble y avoir cohérence entre les valeurs fournies. Mais peut-on faire un autre calcul ne reposant pas sur un facteur donnée au tableau 7.4?

Il suffit de consulter le tableau 3.8 et de multiplier le taux d'émission des gaz aux deux cheminées par la concentration de CO₂ dans ces gaz quelques lignes plus bas. Nous arrivons à 33 350 m³ de CO₂ par heure. En multipliant par 24, puis par 345 (95%), nous obtenons 275 Mm³. En multipliant par la densité de CO₂, 1,98 kg/m³, on obtient 550 000 tonnes soit un peu moins que la valeur de 650 000 tonnes. Mais peut-on prêter foi aux valeurs données au tableau 3.8, certaines valeurs y étant indiquées avec 6 chiffres significatifs? Et si les concentrations de CO₂ dans les cheminées n'étaient pas celles escomptées?...

³² http://www.fertilizer.org/ifacontent/download/5377/84620/version/1/file/1998_ifa_marrakech_kongshaug.pdf

³³ <http://www.cseindia.org/userfiles/79-90%20Fertilizer%281%29.pdf>

Et si les valeurs mises dans la « machine » n'étaient pas correctes. Reprenons l'empreinte carbone d'un m³ de gaz de schiste. Si l'on fait varier le facteur d'émission de 9 kg à 50 kg par GJ, cela nous amène à une augmentation de l'empreinte carbone de 157 000 tonnes, illustrant ainsi le fait que le bilan GES global en serait significativement affecté.

La réduction des GES par l'apport d'hydro-électricité

Dans l'étude d'impact (PR3.1) de février 2013, on peut lire : « *IFFCO Canada étudie également la possibilité d'augmenter la consommation d'énergie électrique de 48 à 65 MW. Cela serait possible en modifiant l'alimentation du compresseur d'air de procédé de façon à le mouvoir électriquement plutôt qu'avec de la vapeur nécessitant la combustion de gaz naturel. Avant de s'engager formellement à cette modification, IFFCO Canada doit compléter la faisabilité technique de cette option, ce qui signifie procéder à une analyse approfondie du bilan énergétique des unités d'ammoniac et d'urée. L'augmentation de la consommation totale en électricité doit également être validée et convenue avec Hydro-Québec, en fonction des contraintes imposées par le réseau électrique. L'augmentation de la consommation totale d'électricité aurait un impact direct sur les émissions totales de gaz à effet de serre puisque les besoins en gaz naturel seraient diminués. La réduction attendue sur les émissions totales de GES serait de l'ordre de 15 à 20%. »*

Durant les audiences et au cours des nombreuses présentations la précédant, le promoteur n'a jamais expliqué comment cette valeur était obtenue. Sachant qu'il s'agit d'un calcul facile, j'aimerais porter à l'attention du lecteur que cette consommation excédentaire serait de 17 MW x 345 jours x 24 heures, soit une énergie de 141 GWh environ. Puisque 1 GWh égale précisément 3,6 térajoules (TJ) et que la capacité calorifique du gaz naturel selon l'Office National de l'Énergie est de 38,2 MJ par m³, l'énergie électrique excédentaire correspond à 0,013 Gm³ de gaz naturel, soit environ 1,3% de la quantité de gaz utilisée par l'usine. Comment expliquer alors une diminution de la quantité de gaz utilisé de l'ordre de 12% et celle concomitante de GES émis de 20%?

Analyse de cycle de vie complète?

Les études et analyses du cycle de vie d'une usine d'urée ou de l'urée elle-même ne se démarquent pas de celles d'une multitude d'autres produits. À ce sujet, trois ou quatre observations s'imposent. D'abord, i) la difficulté de tenir compte de l'ensemble des paramètres, puis ii) de distinguer ceux qui ont un grand impact sur le résultat et qu'il faut impérativement cerner, comme le taux global des émanations de méthane dans la filière du gaz de schiste comme nous venons de le voir. À cela, il faut aussi s'assurer iii) de la

cohérence avec laquelle nous amalgamons l'ensemble des paramètres. On se retrouve souvent avec une série d'équations aux variables implicites dont on peine à voir clair à la fin de la première centaine d'instructions. Reste iv) la validation expérimentale.

Malheureusement ces expériences sont coûteuses ou difficiles à mener et on se résoud souvent qu'à soupeser le résultat donné par tel ou tel logiciel ou banque de données.

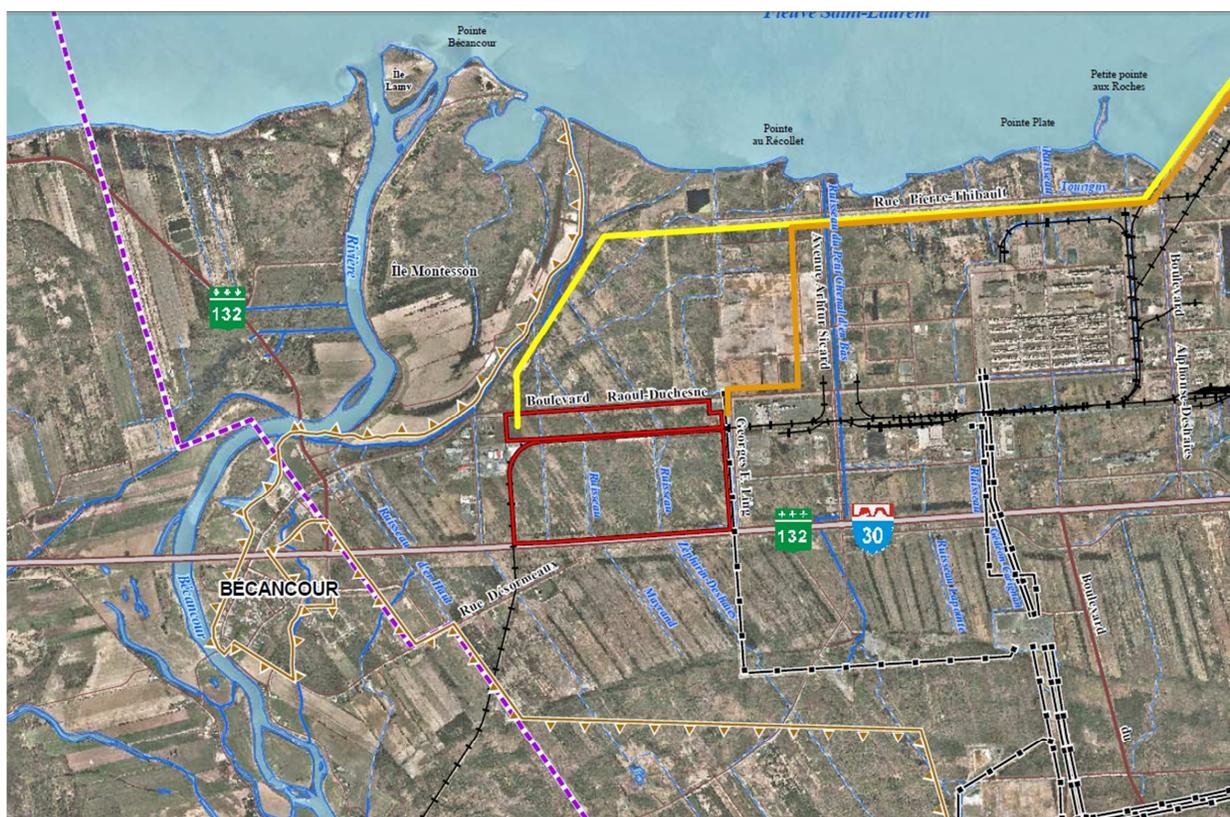
Dans le cas qui nous préoccupe, IFFCO Canada n'a pas mené d'analyse de cycle de vie convaincante, ni pour l'usine, et encore moins en ce qui concerne leurs produits. Dans les transcriptions des audiences (document DT2, ligne 1293), on lit : « *Sur la question des émissions de gaz à effet de serre, du procédé. La question est pour la phase de construction, mais est-ce que vous avez cette information, Monsieur Pillarella?* » Réponse : « *Non, cette information n'a pas été modélisée comme telle.* » Si l'on prend le seul béton, 135 000 m³, et que l'on utilise une valeur pour l'empreinte carbone de 100 kg d'équivalent CO₂ par m³, une valeur conservatrice, nous obtenons 13 500 tonnes de GES. Nous sommes loin des 650 000 tonnes par année mais nous n'avons considéré qu'un élément...

Ce qui peut être plus inquiétant encore est le fait qu'il soit possible qu'un paramètre puisse significativement affecter le bilan de GES. Et si ainsi le facteur global d'émission n'était pas de 0,36 tonne mais de 5 tonnes de CO₂ équivalent par tonne d'urée? La différence serait énorme considérant la capacité de production de l'usine. Plusieurs se souviendront de la campagne « Le défi d'une tonne », laquelle visait chaque adulte québécois. Selon l'endroit où la balance des GES de l'usine d'engrais penchera, c'est un autre défi de ce genre qu'il faudra ajouter.

Le 5^e rapport du GIEC sur l'état du climat sort cette semaine. Espérons qu'il en fera réfléchir plus d'un et que ce projet d'usine ne devienne qu'un souvenir. Il y va de l'avenir de nos enfants.

Autres risques

L'usine d'engrais se trouve sur un site critiquable à plusieurs égards. L'usine serait ainsi située en zone inondable, à moins de 3 mètres du niveau moyen du fleuve, à environ une centaine de mètres de l'autoroute 30, à environ un kilomètre de l'île Montesson (lieu archéologique et historique) et de la rivière Bécancour, à 2 kilomètres du fleuve St-Laurent, à 2 kilomètres du noyau de la Ville de Bécancour, à 7 km de Cap-de-la-Madeleine et à 10 kilomètres de Trois-Rivières. Plus de 100 000 personnes vivraient ainsi dans un périmètre de 10 km de l'usine d'urée.



La proximité des grands centres pour des usines de ce genre n'est pas souhaitable comme le démontre aussi un récent projet : « *La Société générale de financement du Québec est partenaire dans un projet de mine de phosphore à l'entrée de la ville de Sept-Îles. Le projet fait toutefois l'objet d'une vive contestation de la population en raison de sa proximité de la zone urbaine.* »³⁴ Que ce soit dû à un trafic automobile intense, aux rejets d'une aluminerie ou d'une papetière, il devient de mieux en mieux établi que ces sources de pollution

³⁴ <http://www.lapresse.ca/le-quotidien/actualites/201210/23/01-4586042-ressources-darianne-reste-a-laffut.php>

affectent la population en favorisant l'apparition de nombreuses maladies chroniques. Les impacts sur la santé se font toutefois sentir à long terme et vu les nombreuses sources d'exposition, il est difficile d'établir clairement des liens de cause à effet.

Des risques d'accidents majeurs sur le site même d'IFFCO ne sont pas à négliger non plus, de même que ceux liés à la présence de nombreux parcs à résidus dans le parc industriel, des autres industries chimiques présents dans ce même parc, de la proximité (forcément) d'une conduite importante de gaz naturel, du transport de produits dangereux par la voie ferrée, etc. Pris isolément, ces risques peuvent paraître faibles mais à concentrer les risques dans l'espace et dans le temps, on peut atteindre un seuil rendant probable un événement déplorable...



Photographie d'une usine d'urée de la compagnie Toyo.³⁵

Une usine d'engrais s'apparente à une usine pétrochimique et elle comporte des risques importants pour les travailleurs. Pour l'un, l'ammoniac est la cause de nombreuses

³⁵ http://www.toyo-eng.co.jp/ja/advantage/technology/petrochemistry/urea_technology/technical_paper/pdf/2008_Urea_Production_Reduces_Greenhouse_Gas.pdf

mortalités³⁶ car ce gaz suffocant ne pardonne pas en cas de fuite importante. Selon l'INERIS ³⁷, une exposition au gaz ammoniac à 1000 ppm (0,1%) pendant 3 minutes cause chez l'homme des effets irréversibles et invalidants.

Dans le scénario ERPG-2 ³⁸, où les citernes d'ammoniac se videraient en 10 minutes, tel que présenté par le promoteur, on constate que la Ville de Trois-Rivières pourrait être touchée. Dans un rayon de 20 km, la concentration d'ammoniac pourrait être supérieure à 150 ppm.



Référence figure 8.3 Rapport principal

³⁶ http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/monographie_ammoniac_complement.pdf

³⁷ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Ammoniac.pdf>

³⁸ The **ERPG-2** is the maximum airborne concentration below which it is believed that nearly all individuals could be exposed for up to 1 hr without experiencing or developing irreversible or other serious health effects or symptoms which could impair an individual's ability to take protective action.

Il existe aussi des résidents à proximité du parc industriel. Ceux-ci sont les seconds visés par la venue de cette usine. Sur ce point, une difficulté se pose car l'établissement d'une zone tampon ne peut se faire, du moins dans certains cas, que par appropriation des lots de ces résidents. Le 1 novembre 2012, Maurice Richard, président-directeur-général du Parc Industriel déclarait au Nouvelliste que « *contrairement à ce qui avait été véhiculé dans les médias, l'acquisition de trois résidences en 2013 ne constituent pas un agrandissement du parc, mais l'établissement d'un rayon environnemental en vue de la venue de Rio Tinto Fer et Titane.* »³⁹. Est-ce qu'une tel « rayon environnemental » sera prévu pour l'usine d'IFFCO?



Installations de SKW à Piesteritz. (Site : <http://www.skwp.de/français.htm>)

L'argument-massue: nourrir la planète

« *L'usine produira de l'urée, une source d'azote nécessaire à la croissance des plantes. D'ici 2050, la population mondiale atteindra neuf milliards de personnes, note M. Lafleur. Pour nourrir tout le monde, la production alimentaire devra croître de 70 %.* »⁴⁰ Les mêmes

³⁹ <http://www.lapresse.ca/le-nouvelliste/economie/201211/01/01-4589149-bouillonnement-industriel-a-becancour.php>

⁴⁰ <http://www.lapresse.ca/le-soleil/affaires/agro-alimentaire/201210/09/01-4581506-becancour-aura-son-usine-dengrais-en-2017.php>

propos furent tenus par le président d'IFFCO, M. Awasthi, lors de sa venue à Bécancour au mois d'octobre dernier⁴¹.



Dans cette logique reposant sur une fertilisation accrue des sols, d'autres projets d'usine d'urée ont cours : « *According to the International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, between 2010 and 2015, 58 new urea plants are planned to come on stream, of which 17 would be located in China. South Asia will contribute 26 per cent of the net increase in urea capacity, followed by East Asia, Africa, West Asia, Latin America, EECA, and Oceania.* »⁴²

Mais cela va dans le sens contraire des impératifs environnementaux et parfois mêmes des objectifs poursuivis, à savoir le droit à une alimentation adéquate et suffisante pour tous. Sur le plan environnemental, il m'apparaît impératif de consulter les travaux du GIEC sur la question de l'utilisation des fertilisants azotés, sur le plan agroenvironnemental, ceux de Bourguignon⁴³ et Carné-Carnalet⁴⁴. Quant aux effets pervers des actions des transnationales sur la faim dans le monde, la lecture d'un récent essai de Jean Ziegler s'impose⁴⁵.

De manière troublante, il faut constater qu'une portion importante des cultures produites sur la planète ne sert pas à l'alimentation humaine. Selon un rapport récent de la FAO⁴⁶, la proportion de céréales produites pour notre alimentation est maintenant de 45%. Un autre

⁴¹ <http://www.hebdosregionaux.ca/mauricie/2012/10/11/iffco--apres-quebec-becancour>

⁴² <ftp://ftp.fao.org/ag/agp/docs/cwfto15.pdf>

⁴³ Claude Bourguignon (2008). *Le sol, la terre et les champs : pour retrouver une agriculture saine*. Sang de la Terre.

⁴⁴ Christian de Carné-Carnalet (2012). *Agriculture biologique, une approche scientifique*. France Agricole.

⁴⁵ Jean Ziegler (2011). *Destruction massive : Géopolitique de la faim*. Seuil.

⁴⁶ <http://www.fao.org/docrep/018/al999e/al999e.pdf>

rapport fait état qu'entre 30 et 50% des aliments produits ne finissent jamais dans une assiette⁴⁷. Un autre mentionne une valeur de 33%⁴⁸. Pourquoi donc produire plus d'urée et viser une agriculture encore plus intensive alors que, annuellement, entre 1,5 et 2 milliards de tonnes de nourriture ne trouvent pas preneur?...

Conclusion

Des inhibiteurs de nitrification pourraient améliorer le bilan GES de la filière urée en diminuant l'ampleur des émissions de N₂O dans les champs mais d'autre part les grands semenciers annoncent des OGM (plantes et microorganismes) qui rendront caduque la fertilisation azotée. Sans me porter défenseur de ces OGM ni de leur utilisation, je me demande avec quel soin les promoteurs ont tenu compte de cette possibilité.

L'implantation d'une usine d'urée contribuera à une augmentation significative de la demande québécoise en gaz, et par conséquent celle de gaz de schiste, en plus d'augmenter de plus de 1% les émissions de GES au Québec. En contrepartie, elle pourrait employer entre 200 et 300 travailleurs, la plupart résidant dans la région mais cela se ferait en renforçant le modèle régional de l'emploi par la grande entreprise. Qu'advierait-il de ces employés si le prix du gaz grimpeait en flèche ou si une taxe carbone était imposée par une nouvelle équipe ministérielle à Ottawa?

En conclusion, je crois dommageable pour la région et pour le Québec en général l'implantation de cette usine d'urée. Les québécois, et les citoyens de la région en particulier, aspirent à des emplois véritablement « verts » et à une nouvelle façon de penser l'avenir. Le temps semble s'accélérer et l'avenir est par conséquent plus près que jamais. Plutôt que poursuivre le modèle de la culture intensive, pourquoi ne pas développer la permaculture? Avons-nous réellement besoin de cette usine d'urée?

Marc Brullemans, biophysicien
Trois-Rivières, Québec
Le 27 septembre 2013

FIN DU DOCUMENT

⁴⁷ Institute of Mechanical Engineers (2013). Global Food : Waste Not, Want Not.

⁴⁸ <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>